ChinaXiv合作期刊

干旱区地理
ARID LAND GEOGRAPHY

基于探空数据的新疆大气扩散条件时空分布特征分析

孙鸣婧[1,2]， 李 霞[1]， 赵克明[1,2]， 琚陈相[1]， 安大维[2]， 施俊杰[2]， 许婷婷[2]
（1. 中国气象局乌鲁木齐沙漠气象研究所，新疆 乌鲁木齐 830002；
2. 新疆维吾尔自治区气象台，新疆 乌鲁木齐 830002）

摘 要： 利用2010—2019年新疆14个探空气象站资料统计分析了近10 a大气最大混合层高度（下文简称混合层高度）、通风量、边界层平均风速及大气自净能力指数的时空分布特征，探讨了各物理参数与空气质量的关系。结果表明：（1）以上参数的逐月分布均呈倒"V"型，表现为夏半年大、冬半年小，即新疆的大气扩散能力在夏季最强、冬季最弱，其中混合层高度和通风量在冬、夏季差距悬殊。（2）南疆大气扩散能力普遍比北疆好，无论冬夏南疆的自净能力、通风量、混合层高度均大于北疆。（3）北疆除阿勒泰站外，其余站点上述物理参数均与空气质量指数（Air quality index，AQI）呈显著负相关，即大气扩散能力越强，空气质量越好，而南疆只有和田站通过了0.01的置信度检验，但两者呈正相关，即大气扩散能力越强，空气质量越差，这归因于南北疆不同的大气污染来源。

关 键 词： 大气扩散能力；自净能力指数；通风量；混合层高度
文章编号：

chinaXiv:202201.00070v1

新疆地处祖国西大门，是我国向西开放的重要门户，也是我国西北重要安全屏障。在新形势下，新疆不仅是"祖国重要的能源基地和运输通道，"也是"丝绸之路经济带核心区"，具有不可替代的重要国家战略地位，事关实现"两个一百年"奋斗目标和中华民族伟大复兴[1]。新疆因受中部天山山脉分隔，南北疆形成了2个不同的污染区，春季多风沙天气，主要为沙尘污染，南疆甚于北疆；冬季大气层结稳定，阻碍大气污染物的扩散，城市里煤烟污染加重，北疆甚于南疆[2-4]，风可以导致南疆出现沙尘，使空气质量变差，也可以使北疆边界层堆积的污染物被吹散，空气质量变好。可见相同的大气扩散条件可能会在不同地区有相反的作用，因此掌握大气扩散能力的分布情况对污染防治有重要意义，尤其是在地形复杂的新疆。

近年来国内外许多学者都对不同大气扩散条件开展过研究，其中混合层高度是表征大气扩散条件的一个重要参数[5-8]，它在污染物的输送和扩散研究中具有重要意义[9]。我国混合层高度整体表现为在冬半年小，夏半年大；南方低海拔城市相对稳定，变化幅度小，北方城市及南方高海拔城市变幅较大[10]，它主要受天气系统所引发的动力抬升条件和太阳高度角影响。此外，通风量也是大气扩散条件研究中的一个重要物理量[11-12]，我国的通风量大体呈北高南低、西高东低的分布特征，新疆乌鲁木齐由于地处内陆，三面环山相对闭塞，通风量较低[12]，因此易出现重污染天气。国家气候中心研究制定了大气自净能力指数，用以表征大气环境容量[13]，在空气污染气象服务业务中应用广泛。它与大气污染排放量没有关系，仅表示大气自身运动对大气污染物的通风扩散和降水的清除能力，它包含混合层高度及通风量的作用[14-16]。与全国大气环境容量相比，新疆大气自净能力值偏低，在污染高发季节这一特征尤其明显[17]。

在新疆，针对大气扩散条件的研究大多针对首府乌鲁木齐、天山北坡重要经济带城市群或某一地

收稿日期： 2021-02-10； **修订日期：** 2021-08-15
基金项目： 新疆维吾尔自治区自然基金面上项目（2020D01A99）；中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目（IDM2020001）；国家自然科学基金（41575011）；沙漠基金（Sqj2019004）资助
作者简介： 孙鸣婧（1990-），女，硕士研究生，主要从事灾害性天气研究. E-mail: 516327545@qq.com
通讯作者： 赵克明（1983-），男，高级工程师，硕士研究生，主要从事短期天气预报和大气环境研究. E-mail: zhaokeming_1983@163.com

ChinaXiv合作期刊

chinaXiv:202201.00070v1

州展开[18-21]，缺少对全疆范围扩散条件的整体研究。随着"三线一单"编制工作的开展，全疆工业发展布局将面临新的调整，如何规划大气环境质量底线，需要众多科学决策依据[22]，因此开展全疆范围内大气扩散条件的研究就显得尤为迫切。本文基于2010—2019年新疆14个探空站数据，分析了全疆大气自净能力指数等时空分布特征，初步探究其与空气质量的关系，以期为新疆工业发展布局调整及大气污染防控治理提供科学依据。

1 资料与方法

1.1 资料介绍

本文所使用的气象资料为2010—2019年新疆14个探空站的秒级探空数据（图1），垂直分辨率为10 m，气象要素主要包括温度、距地高度及风速、风向等；同时还有这14个站的地面气象观测资料，主要包括地面日最高气温和降水量等。空气质量监测数据为2015—2019年新疆10个城市（为与探空站对应，筛选有探空站且有空气质量监测站的城市共10个）逐日空气质量指数（AQI），数据来自中国环保部全国城市空气质量实时发布平台（http://106.37.208.233:20035/）。

1.2 大气扩散条件计算方法

1.2.1 混合层高度 混合层高度（The maximum mixing depth，MMD）反映了污染物可以被稀释的最大大气容量，它表征了污染物在铅直方向稀释和扩散的最大范围，是表征大气扩散能力的重要指标之一。当大气边界层高度较低时，其作用类似盖子限制了污染物的垂直混合[23]。本文用干绝热法[24]并结合王式功等[25]提出的逐步逼近法计算逐日混合层高度，即（1）在地面气温数据中找出每日09:00—18:00的最高气温；（2）在温度-对数压力图（图2）上，从每日地面最高气温所在点，沿干绝热线上升，与当日08:00的探空温度廓线相交，所得交点D距地面高度P_0的距离即当日混合层高度。

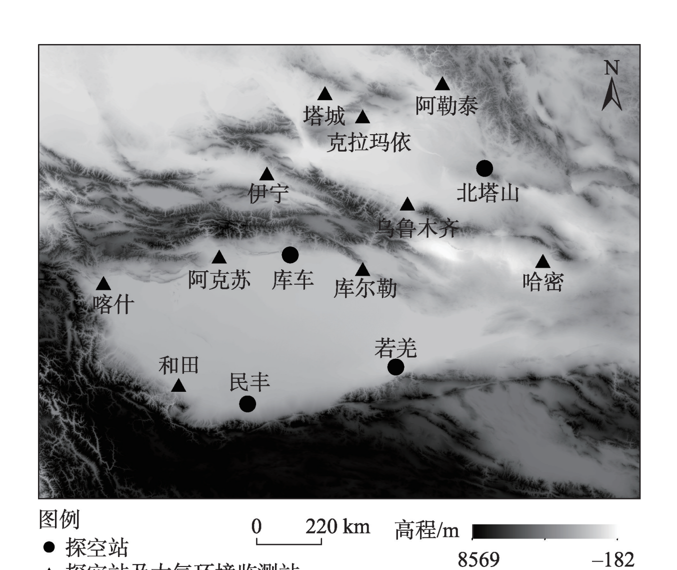
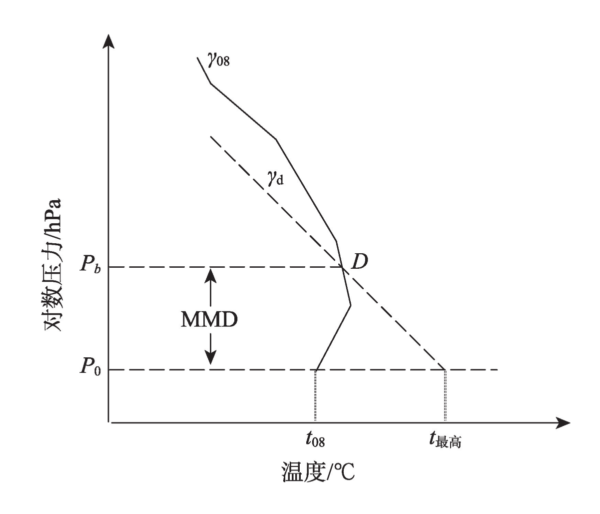


图1 全疆14个探空站分布

Fig. 1 Distribution of the 14 radiosonde stations in Xinjiang



注：t_{08}为当日08:00地面气温（℃），$t_{最高}$为当日地面最高气温（℃），P_0为海平面气压（hPa），P_b为b高度处气压（hPa），γ_d为干绝热线，γ_{08}为当日08:00的温度廓线，D为08:00探空温度廓线与干绝热线的交点，MMD为混合层高度。

图2 混合层高度算法示意图

Fig. 2 Schematic diagram of the maximum mixing depth

1.2.2 边界层通风量 边界层通风量（V_e，$m^2 \cdot s^{-1}$）是在混合层高度内，不同高度与对应高度风速乘积的总和（本文所用间隔为等50 m），表达了大气动力与热力综合作用下对大气污染物的清除能力，其值越小越不利于污染物扩散，计算方法如下：

$$V_e = \int_0^{MMD} u(z)dz \quad (1)$$

式中：MMD为边界层混合层高度（m）；$u(z)$为距地面高度z（m）处的水平风速（$m \cdot s^{-1}$）。

1.2.3 边界层平均风速 边界层平均风速（U，$m \cdot s^{-1}$）为混合层内空气水平输送平均速率的量度，它等于通风量除以混合层高度。

1.2.4 大气自净能力指数 本文选用国家气候中心研究制定的大气自净能力指数[10]，计算公式如下：

$$ASI = \left(\frac{\sqrt{\pi}}{2} \times V_e + W_r R \sqrt{S}\right) \times C_s / \sqrt{S} \quad (2)$$

ChinaXiv合作期刊

式中：ASI为大气自净能力指数(t·d^{-1}·km^{-2})；W_r=6×10^{5}为雨洗常数；R为降水率(mm·d^{-1})，即单位时间内的降水量；S为单位面积(km^2)，取值100 km^2；V_e为通风量(m^2·s^{-1})；C_s为典型污染物的空气质量控制浓度(mg·m^{-3})，其下标s表示底面积(m^2)，详见文献[14]。

2 结果与分析

2.1 大气扩散条件的时空分布特征

2.1.1 ***混合层高度*** 为得到近10 a新疆混合层高度的时间变化特征，分别按月和季节对14个探空站的混合层高度求平均，其逐月变化呈明显的倒“V”型(图略)，最大值(3139 m)出现在6月，5月次之(3120 m)，最小值出现在12月(580 m)。新疆混合层高度在冬、夏季差异大，最大值出现在夏季(2871 m)，最小值出现在冬季(712 m)，春、秋季分别是2533 m、1623 m，这是因为混合层高度表征了低层空气通过热力湍流和热力对流向高层输送的最大高度，受地表加热、风速及云量等因素影响(图3)。夏季新疆太阳辐射强且日照时间长，少云多风，对应混合层高度大；冬季太阳辐射大幅减弱，且北疆沿天山一带易出现持续的阴雾或阴雪天气(其作用类似云盖罩在近地层)，加之地面积雪，都在一定程度上减弱边界层高度的发展，导致其在冬季最小，这与前人的研究结果一致[26]。

进一步分析不同地区的混合层高度发现，南北疆的混合层高度存在明显差异(图4)。北疆站月平均混合层高度最大值出现在5、6、7月(2711~2927 m，克拉玛依3140 m)，南疆和哈密站最大的混合层高度主要集中在5、6月(3176~3797 m)，南疆的混合层高度明显大于北疆。这可能是由于南北疆的地形差异所致，北疆探空站多分布在平原或山区，而南疆探空站多分布在塔克拉玛干沙漠周边，夏季太阳辐射作用更强，非绝热加热效果更为显著；另一方面，南北疆经向跨度大，由于较大的纬度差异南

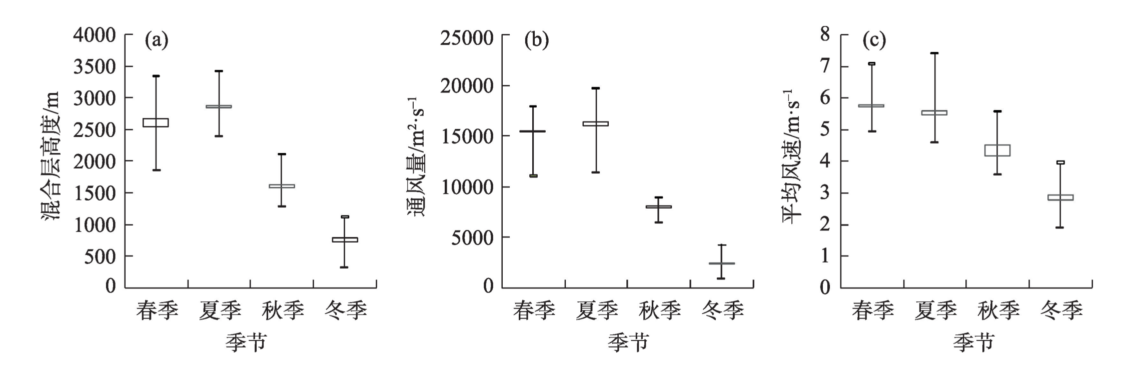


图3 2010—2019年新疆14站平均混合层高度、通风量、平均风速的季节变化

Fig. 3 Seasonal variations of average mixing depth, ventilation, and average wind speed of 14 stations in Xinjiang during 2010—2019

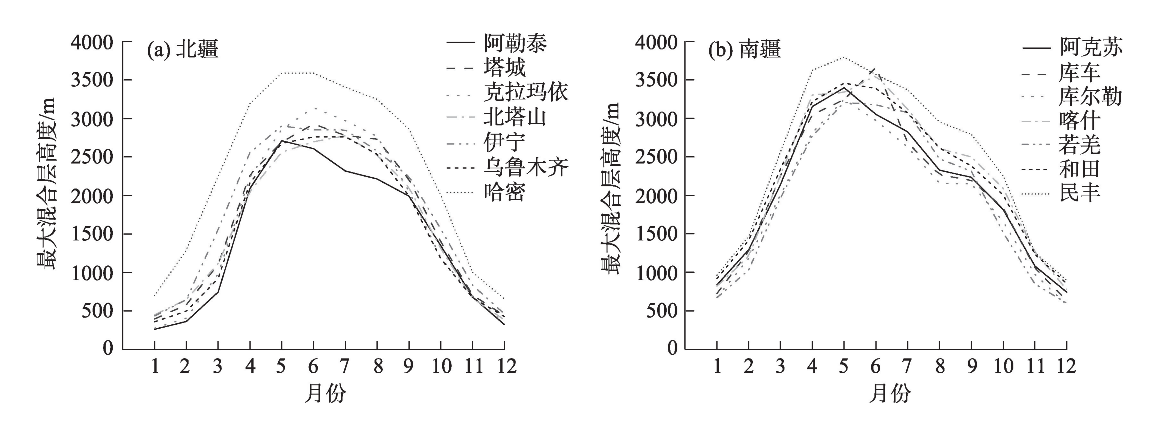


图4 北疆、南疆各站混合层高度逐月变化

Fig. 4 Monthly variations of mixing depth in northern and southern Xinjiang

chinaXiv:202201.00070v1

ChinaXiv合作期刊

chinaXiv:202201.00070v1

疆太阳辐射时间长于北疆，导致南疆混合层高度普遍大于北疆。克拉玛依的月平均混合层高度普遍大于北疆其他站，接近南疆站点。对于月平均混合层高度最小值，南疆也普遍大于北疆，南疆均出现在12月(577~897 m)，北疆大部分都出现在1月(274~434 m)，只有北塔山站出现在12月。北塔山站海拔高度1654 m，是全疆14个探空站里唯一1个海拔超过1500 m的站，其月平均混合层高度最小值出现在12月，可能与其山区地形有关，具体原因还需要进一步分析探讨。

2.1.2 边界层通风量 由边界层通风量的计算公式可知，其与混合层内每层的混合层高度和对应平均风速有关，故其逐月分布与混合层高度类似(图略)，也呈倒"V"型，最大值出现在5月(20751 $m^2 \cdot s^{-1}$)，其次是6月(17861 $m^2 \cdot s^{-1}$)，最小值出现在1月(1864 $m^2 \cdot s^{-1}$)，其次是12月(1898 $m^2 \cdot s^{-1}$)。季节分布来看(图3b)最大值出现在夏季(15977 $m^2 \cdot s^{-1}$)，其次是春季(15363 $m^2 \cdot s^{-1}$)和秋季(7839 $m^2 \cdot s^{-1}$)，最小值出现在冬季(2423 $m^2 \cdot s^{-1}$)，这与混合层高度的分布特征也一致。

全疆14个探空站的月平均通风量最大值都出现在5月(图5)，南北疆差距不大；最小值南北疆有明显差异，北疆和东疆哈密出现在1月(在604~1864 $m^2 \cdot s^{-1}$之间浮动)，而南疆基本出现在12月(在1527~3117 $m^2 \cdot s^{-1}$之间浮动)，南疆通风量明显大于北疆和东疆。通风量不仅与混合层高度密切相关，也与新疆大风日数息息相关，已有研究表明新疆春、夏季大风日数最多，占全年的75%，秋季次之，约占15%，冬季最少，占10%[27]，由此可见，在新疆大风日数与通风量的季节分布有很好的对应关系。研究指出，在我国高原、西北地区通风量相对较大[12]，这一点在本文中也得到验证，新疆夏季的通风量远大于内陆沿海省份，冬季则远小于之(浙江省夏季通风量在6000~7500 $m^2 \cdot s^{-1}$之间，冬季在5500 $m^2 \cdot s^{-1}$左右[26])，故新疆冬季大气扩散条件不好，易出现污染天气，而夏季大气扩散条件较好，污染天气少。

2.1.3 边界层平均风速 边界层平均风速的逐月分布仍呈倒"V"型(图略)，最大值出现在5月(5.8 $m \cdot s^{-1}$)，最小值出现在1月(2.7 $m \cdot s^{-1}$)，但其逐月变化幅度相对混合层高度和通风量较小。季节分布与以上变量不同，最大值出现在春季(5.8 $m \cdot s^{-1}$)，其次是夏季(5.6 $m \cdot s^{-1}$)和秋季(4.5 $m \cdot s^{-1}$)，最小值出现在冬季(2.9 $m \cdot s^{-1}$)。

全疆逐月边界层平均风速的最大值基本都出现在5月前后(图6)，最小值出现在12月和1月(东疆、北疆多在1月，南疆多在12月)，对比南北疆的边界层平均风速发现，两者差距不大，没有明显规律可循。说明对新疆而言，在混合层高度内南北疆的风速最大值和最小值出现时间基本一致，且风速相当，对于大气扩散条件的时间或空间划分不具明显参考意义。

2.2 大气自净能力指数的时空分布特征

大气自净能力指数逐月变化(图7)呈明显的倒"V"型，与通风量(图5)分布非常相似，这是因为新疆降水少且量级小，降水对大气自净能力的贡献有限，大气自净能力主要取决于通风量这一项，详见公式(2)。在冬季的11月—次年2月，大气自净能力指数呈现较小值，不利于大气污染物的清除，其余月份则呈现相对较大值，利于污染物的清除。季节分布来看(图8)，全疆的自净能力在夏季最大9.2

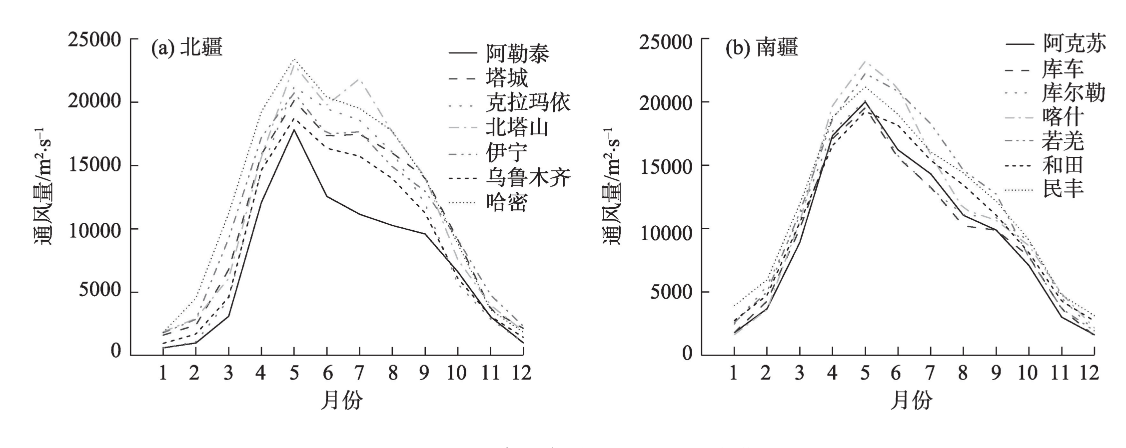


图5 北疆、南疆各站通风量逐月变化

Fig. 5 Monthly variations of ventilation in northern and southern Xinjiang

ChinaXiv合作期刊

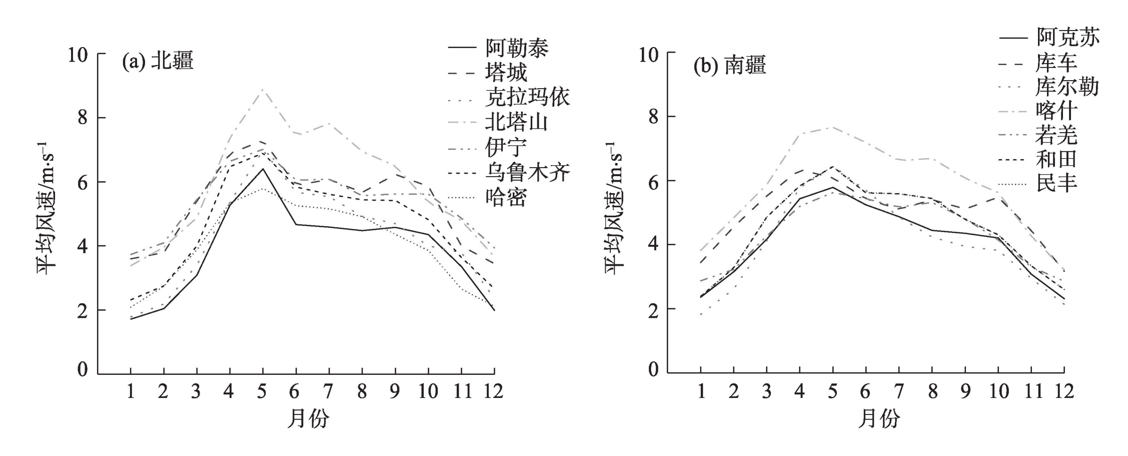


图6　北疆、南疆各站平均风速逐月变化

Fig. 6　Monthly variations of average wind speed in northern and southern Xinjiang

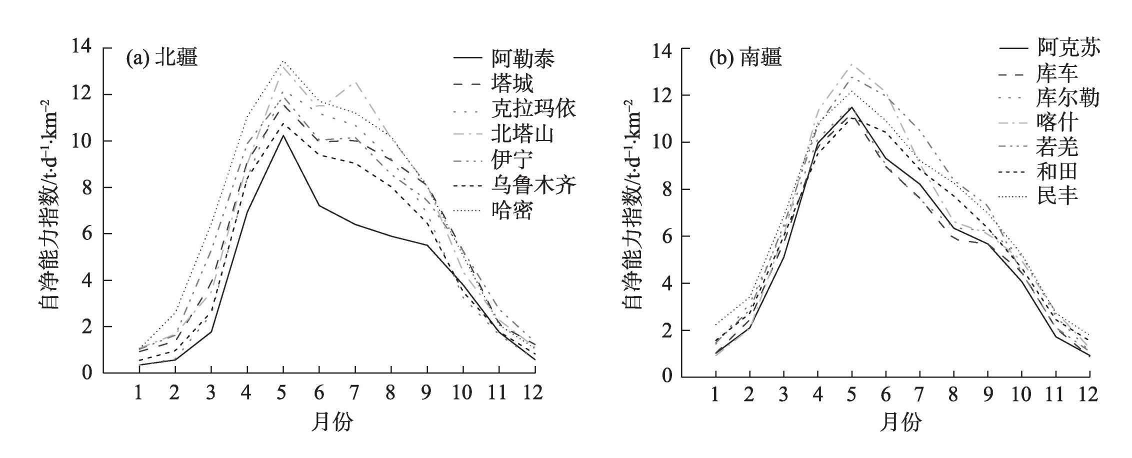


图7　北疆、南疆各站边界层自净能力指数逐月变化

Fig. 7　Monthly variations of air self-cleaning index in northern and southern Xinjiang

chinaXiv:202201.00070v1

$t\cdot d^{-1}\cdot km^{-2}$，其次是春季8.8 $t\cdot d^{-1}\cdot km^{-2}$、秋季4.5 $t\cdot d^{-1}\cdot km^{-2}$，冬季最小1.4 $t\cdot d^{-1}\cdot km^{-2}$，与混合层高度、通风量季节分布一致。有研究表明黑龙江地区的大气自净能力在春季最高，秋季次之，冬季最低[16]，而在四川盆地则是春季最强，冬季次之，夏秋季较弱[28]，这是因为不同季节通风量及降雨的清除能力不同，相比较而言，新疆的大气自净能力更多是受通风量影响，受降水影响小。

图7为南北疆各探空站大气自净能力指数逐月分布图，北疆各站大气自净能力指数最大值10.2~13.2 $t\cdot d^{-1}\cdot km^{-2}$，南疆11.1~13.5 $t\cdot d^{-1}\cdot km^{-2}$；最小值北疆在0.3~1.1 $t\cdot d^{-1}\cdot km^{-2}$之间浮动，南疆在0.9~1.8 $t\cdot d^{-1}\cdot km^{-2}$之间浮动，总体来看南疆的自净能力指数比北疆大。另外，南疆各站自净能力的峰值多在4、5、6月，而北疆的峰值多在5、6、7月，南疆大气自净能力开始增强的时间要早于北疆。

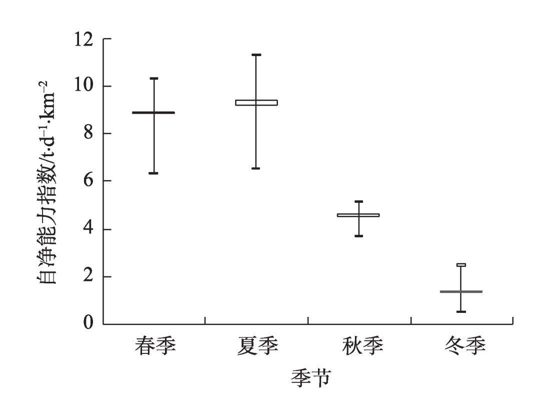


图8　2010—2019年新疆平均大气自净能力指数的季节变化

Fig. 8　Seasonal variations of average air self-cleaning index in Xinjiang during 2010—2019

2.3　大气扩散条件与空气质量的关系

上文分析的大气扩散条件的时空分布基本符合新疆地理及气候特征，一定程度上反映了新疆大

ChinaXiv合作期刊

chinaXiv:202201.00070v1

气的扩散能力,但它们与新疆各站的空气质量是否也有较好的对应关系呢?这对我们进一步为大气污染治理建言献策至关重要。

图9给出了2015—2019年逐月AQI与自净能力指数、混合层高度、边界层平均风速的相关系数,南北疆有明显差异。北疆站的以上物理量基本都与AQI显著负相关(除阿勒泰站外,其余站都通过了0.01的置信度检验),即在北疆,大气扩散能力越强,空气质量越好,大气扩散能力越弱,空气质量越差。而南疆站大气扩散条件与AQI的相关关系并不统一,阿克苏和库尔勒没有通过显著性检验;喀什站的自净能力指数和混合层高度与AQI呈显著负相关,通过了0.1的置信度检验,但边界层平均风速未通过显著性检验;和田站AQI与3个参数均呈显著正相关,都通过了0.01的置信度检验,这和北疆站点与空气质量的关系完全相反,即在和田,大气扩散能力越强,空气质量越差,而大气扩散能力越弱,空气质量越好。

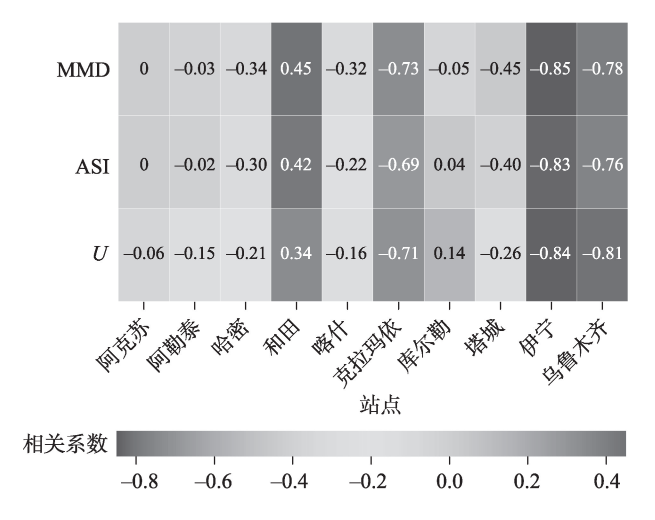


图9 大气自净能力指数(ASI)、混合层高度(MMD)、边界层平均风速(U)与空气质量指数(AQI)的相关系数

Fig. 9 Correlation coefficients between AQI and ASI, MMD, and U

上文提到南北疆是2个不同的大气污染区,南疆春季主要为沙尘污染,南疆的和田站尤其严重,因此,对于和田站而言,较好的大气扩散能力反而容易扬起沙尘,造成较差的空气质量。而对于北疆地区,多是由于大气层结稳定,城市工厂煤烟无法排放而导致空气质量下降,因此较强的大气扩散能力会帮助污染物的稀释和扩散,使得空气质量变好。

不同物理参数与AQI的相关性略有差别,整体来看混合层高度在北疆、东疆及南疆的和田表现最优,其次是大气自净能力指数,最后是边界层平均风速。但乌鲁木齐站是个例外:边界层平均风速与AQI的相关性最好,其次是混合层高度、自净能力指数。这可能是因为乌鲁木齐冬季的阴雾、阴雪天和晴天时最高气温差距大(阴雾、阴雪天时到达地面的太阳辐射大幅减弱,地面日最高气温低,晴天时地面日最高气温高),导致日混合层高度差距大,逐月平均后反而不能较好的反映大气扩散条件,所以AQI与混合层高度的相关系数不如与边界层平均风速显著。

3 讨论

大气自净能力指数及混合层高度、通风量及边界层平均风速在新疆具有独特的时空分布特征,可作为大气污染防治的重要参考。大气扩散能力夏季最强、冬季最弱,冬、夏季南疆均强于北疆,这主要是由于不同的日照时间及日照强度导致地面非绝热加热有较大差异、混合层高度有差异,进而导致扩散条件差距悬殊。与内陆沿海城市相比,夏季新疆的扩散能力最好,不容易出现污染天气,而冬季的扩散能力最差,利于发生污染天气,这也归因于新疆和内陆沿海城市不同的气候背景(新疆为大陆性气候区,内陆沿海城市为季风区)。

大气扩散能力与污染物的关系不可一概而论,南北疆污染成因不同,扩散条件的作用也不一样。有些城市如乌鲁木齐、阿勒泰,其大气扩散条件或与污染物的关系与全疆其他站点相比有共性也有特性,因此在大气污染防治时应考虑这些局地特殊因素因地制宜。

4 结论

与以往新疆局地或局部区域的研究不同,本文通过统计分析全疆14个探空站大气自净能力指数、混合层高度、通风量及边界层平均风速等物理参数,得出了全疆范围内大气扩散能力的分布概况,初步揭示了南北疆污染物扩散的不同气象条件,为日后更深入的开展大气污染研究奠定了基础,所得结论如下:

(1) 全疆大气自净能力在夏季最强,其次是春

ChinaXiv合作期刊

chinaXiv:202201.00070v1

季和秋季，冬季最弱；南疆的大气自净能力冬、夏季都比北疆好，南疆由冬季进入夏季时自净能力逐渐变好的时间要比北疆早约一个月。

（2）大气混合层高度、通风量的时间分布特征与大气自净能力指数基本一致，最大值出现在夏季，最小值出现在冬季，且冬、夏季差距大，夏季为2871 m，冬季为712 m。南疆的混合层高度（577~3797 m）明显高于北疆（274~2927 m）；新疆的通风量在春季（15363 $m^2 \cdot s^{-1}$）和夏季（15977 $m^2 \cdot s^{-1}$）远大于冬季（2423 $m^2 \cdot s^{-1}$），也远大于内陆沿海城市（6000~7500 $m^2 \cdot s^{-1}$），而冬季则小于内陆沿海城市（5500 $m^2 \cdot s^{-1}$左右）。在夏季，南北疆的通风量没有明显差异，但在冬季，南疆的通风量明显大于北疆。

（3）边界层平均风速的时间分布特征与上述3个物理量的不同之处在于其最大值出现在春季（5.8 $m \cdot s^{-1}$），其次是夏季（5.6 $m \cdot s^{-1}$），最小值仍然出现在冬季（2.9 $m \cdot s^{-1}$）。它的时间特征及数值在南北疆变化不大，对于大气扩散条件的时间或空间划分不具明显参考意义。

（4）全疆的大气扩散能力（自净能力指数、混合层高度、通风量、边界层平均风速）与AQI有一定相关性，但南北疆表现不同。在北疆，这些指数基本与AQI呈显著负相关；而在南疆，绝大多数站未通过显著性检验，只有和田的3个物理参数均通过了0.01的置信度检验，但两者呈显著正相关。总体来看，大气混合层高度与AQI的相关性最好，其次是自净能力指数、边界层平均风速，但不同站点由于其特殊性稍有不同。

参考文献（References）

[1] 谢大伟，张诺. 丝绸之路经济带新疆生态旅游业发展探析[J]. 干旱区地理, 2018, 41(4): 844−850. [Xie Dawei, Zhang Nuo. Development of eco-tourism in Xinjiang in Silk Road Economic Belt[J]. Arid Land Geography, 2018, 41(4): 844−850.]

[2] 郝毓灵，郭英之. 新疆重点旅游城市大气环境质量演变趋势分析[J]. 干旱区地理, 1995, 18(4): 16−22. [Hao Yuling, Guo Yingzhi. Analysis on the evolution tendency of atmospheric environmental quality in the main traveling cities and towns in Xinjiang [J]. Arid Land Geography, 1995, 18(4): 16−22.]

[3] 张小啸，陈曦，王自发，等. 新疆和田绿洲大气降尘和PM_{10}浓度变化特征分析[J]. 干旱区地理, 2015, 38(3): 454−462. [Zhang Xiaoxiao, Chen Xi, Wang Zifa, et al. Variation characteristics of atmospheric dustfall and PM_{10} concentration in Hotan oasis Xinjiang [J]. Arid Land Geography, 2008, 38(3): 454−462.]

[4] 李景林，郑玉萍，刘增强. 乌鲁木齐市低空温度层结与采暖期大气污染的关系[J]. 干旱区地理, 2007, 30(4): 519−525. [Li Jinglin, Zheng Yuping, Liu Zengqiang. Relation between the low altitude temperature stratification and the heating period atmospheric pollution in Urumqi City[J]. Arid Land Geography, 2007, 30(4): 519−525.]

[5] 王坚，蔡旭晖，宋宇. 北京地区日最大边界层高度的气候统计特征[J]. 气候与环境研究, 2016, 21(5): 525−532. [Wang Jian, Cai Xuhui, Song Yu. Daily maximum height of atmospheric boundary layer in Beijing: Climatology and environmental meaning[J]. Climatic and Environmental Research, 2016, 21(5): 525−532.]

[6] 刘建，吴兑，范佳员. 珠江三角洲区域污染分布及其垂直风场特征[J]. 环境科学, 2015, 36(11): 3989−3998. [Liu Jian, Wu Dui, Fan Jiayuan. Distribution of regional pollution and the characteristics of vertical wind field in the Pearl River Delta[J]. Environmental Science, 2015, 36(11): 3989−3998.]

[7] 赵克明，李霞，杨静. 乌鲁木齐大气最大混合层厚度变化的环境响应[J]. 干旱区研究, 2011, 28(3): 509−513. [Zhao Keming, Li Xia, Yang Jing. Environmental response to variation of the atmospheric maximum mixing depth in Urumqi[J]. Arid Zone Research, 2011, 28(3): 509−513.]

[8] 李振杰，金丽丽，何清，等. 乌鲁木齐地区大气混合层高度和大气稳定性特征及其与大气污染的关系[J]. 干旱区地理, 2019, 42(3): 478−491. [Li Zhenjie, Jin Lili, He Qing, et al. Characteristics of atmospheric mixing layer height and atmospheric stability in Urumqi region and their relationship with the atmospheric pollution[J]. Arid Land Geography, 2019, 42(3): 478−491.]

[9] 张振州，蔡旭晖，宋宇，等. 海南岛地区大气边界层高度的时空变化特征[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2013, 49(5): 783−790. [Zhang Zhenzhou, Cai Xuhui, Song Yu, et al. Temporal and spatial variation of atmospheric boundary layer height over Hainan Island and its adjacent sea areas[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2013, 49(5): 783−790.]

[10] 张莹，贾旭伟，杨旭，等. 中国典型代表城市空气污染特征及其与气象参数的关系[J]. 气象与环境学报, 2017, 33(2): 70−79. [Zhang Ying, Jia Xuwei, Yang Xu, et al. Characteristics of air pollution and its relationship with meteorological parameters in typical representative cities of China[J]. Journal of Meteorology and Environment, 2017, 33(2): 70−79.]

[11] 姜平，刘晓冉，孙佳，等. 基于地面观测数据的重庆主城区通风量定量分析[J]. 干旱气象, 2021, 39(1): 96−101. [Jiang Ping, Liu Xiaoran, Sun Jia, et al. Quantitative analysis of ventilation quantity in Chongqing main city zone based on surface observations[J]. Journal of Arid Meteorology, 2021, 39(1): 96−101.]

[12] 徐大海，朱蓉. 我国大陆通风量及雨洗能力分布的研究[J]. 中国环境科学, 1989, 9(5): 367−374. [Xu Dahai, Zhu Rong. A study on the distribution of ventilation and rainout capacity in mainland China[J]. China Environmental Science, 1989, 9(5): 367−374.]

ChinaXiv合作期刊

[13] GB/T34299-2017. 中国国家标准化管理委员会: 大气自净能力等级[S]. 北京: 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 2017. [GB/T34299- 2017. National Standardization Administration of China: Atmospheric self-cleaning ability grade[S]. Beijing: General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of China, 2017.]
[14] 朱蓉, 张存杰, 梅梅. 大气自净能力指数的气候特征与应用研究[J]. 中国环境科学, 2018, 38(10): 3601-3610. [Zhu Rong, Zhang Cunjie, Mei Mei. The climate characteristics of atmospheric self-cleaning ability index and its application in China[J]. China Environmental Science, 2018, 38(10): 3601-3610.]
[15] 张侠, 胡琳, 李茜, 等. 陕西省大气环境承载力分析[J]. 干旱区地理, 2018, 41(4): 712- 717. [Zhang Xia, Hu Lin, Li Qian, et al. Bearing capacity of atmospheric environment in Shaanxi Province [J]. Arid Land Geography, 2018, 41(4): 712-717.]
[16] 朱红蕊, 刘赫男, 张洪玲, 等. 2008—2018年黑龙江省大气自净能力变化特征分析[J]. 气象与环境学报, 2020, 36(4): 89-94. [Zhu Hongrui, Liu Henan, Zhang Hongling, et al. Change characteristics of atmospheric self-purification capability in Heilongjiang Province from 2008 to 2018[J]. Journal of Meteorology and Environment, 2020, 36(4): 89-94.]
[17] 徐大海, 王郁, 朱蓉. 中国大陆地区大气环境容量及城市大气环境荷载[J]. 中国科学: 地球科学, 2018, 48(7): 924-937. [Xu Dahai, Wang Yu, Zhu Rong. Atmospheric environmental capacity and urban atmospheric load in mainland China[J]. Scientia Sinica (Terrae), 2018, 48(7): 924-937.]
[18] 赵克明, 李霞, 卢新玉, 等. 峡口城市乌鲁木齐冬季大气污染的时空分布特征[J]. 干旱区地理, 2014, 37(6): 1108-1118. [Zhao Keming, Li Xia, Lu Xinyu, et al. Wintertime temporal-spatial distribution characteristics of air pollution in mountain gap town Urumqi[J]. Arid Land Geography, 2014, 37(6): 1108-1118.]
[19] 李霞, 杨静, 麻军, 等. 乌鲁木齐重污染日的天气分型和边界层结构特征研究[J]. 高原气象, 2012, 31(5): 1414-1423. [Li Xia, Yang Jing, Ma Jun, et al. Researches of weather pattern and boundary layer structure characteristic on serious air pollution days in Urumqi[J]. Plateau Meteorology, 2012, 31(5): 1414-1423.]
[20] 杨静, 李霞, 李秦, 等. 乌鲁木齐近30 a大气稳定度和混合层高度变化特征及与空气污染的关系[J]. 干旱区地理, 2011, 34(5): 747-752. [Yang Jing, Li Xia, Li Qin, et al. Variation characteristics of atmospheric stability and mixed layer thickness and their relation to air pollution in recent 30 years in Urumqi[J]. Arid Land Geography, 2011, 34(5): 747-752.]
[21] 黄忠. 乌鲁木齐市重污染天气与气象因素变化的影响分析[J]. 干旱环境监测, 2005, 19(3): 154-157. [Huang Zhong. Analysis on heavy pollution weather and meteorology factor change in Urumqi City[J]. Arid Environmental Monitoring, 2005, 19(3): 154-157.]
[22] 方创琳. 天山北坡城市群可持续发展战略思路与空间布局[J]. 干旱区地理, 2019, 42(1): 1-11. [Fang Chuanglin. Strategic thinking and spatial layout for the sustainable development of urban agglomeration in northern slope of Tianshan Mountains[J]. Arid Land Geography, 2019, 42(1): 1-11.]
[23] Zhang Y, Wen X Y, Jang C J. Simulating chemistry-aerosol-cloud-radiation-climate feedbacks over the continental US using the online- coupled weather research forecasting model with chemistry (WRF/Chem)[J]. Atmospheric Environment, 2010, 44(29): 3568-3582.
[24] Holzworth G C. Mixing depths, wind speeds and air pollution potential for selected locations in the United States[J]. Journal of Applied Meteorology, 1967, 6(6): 1039-1044.
[25] 王式功, 姜大膀, 杨德保, 等. 兰州市区最大混合层厚度变化特征分析[J]. 高原气象, 2000, 19(3): 363-370. [Wang Shigong, Jiang Dabang, Yang Debao, et al. A study on characteristics of change of maximum mixing depths in Lanzhou[J]. Plateau Meteorology, 2000, 19(3): 363-370.]
[26] 郁珍艳, 李正泉. 高大伟. 等. 浙江省空气质量与大气自净能力的特征分析[J]. 气象, 2017, 43(3): 323-332. [Yu Zhenyan, Li Zhengquan. Gao Dawei, et al. Feature analysis of air quality and atmospheric self-purification capability in Zhejiang[J]. Meteorological Monthly, 2017, 43(3): 323-332.]
[27] 张家宝, 苏启元, 孙沈清, 等. 新疆短期天气预报指导手册[M]. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 1986: 271-274. [Zhang Jiabao, Su Qiyuan, Sun Shenqing, et al. Xinjiang short-term weather forecast guide[M]. Urumqi: Xinjiang People' s Publishing House, 1986: 271-274.]
[28] 罗玉, 陈超, 张天宇, 等. 1981—2017年四川省大气自净能力变化特征分析[J]. 中国环境科学, 2021, 41(2): 527-536. [Luo Yu, Chen Chao, Zhang Tianyu, et al. Analysis on the characteristics of atmospheric self-cleaning ability index in Sichuan Province from 1981 to 2017[J]. China Environmental Science, 2021, 41(2): 527-536.]

chinaXiv:202201.00070v1

ChinaXiv合作期刊

Spatial and temporal characteristics of atmospheric diffusion conditions in Xinjiang based on radiosonde data

SUN Mingjing[1,2], LI Xia[1], ZHAO Keming[1,2], JU Chenxiang[1], AN Dawei[2], SHI Junjie[2], XU Tingting[2]

(1. Institute of Desert and Meteorology, Urumqi, China Meteorological Administration, Urumqi 830002, Xinjiang, China;
2. Xinjiang Meteorological Observatory, Urumqi 830002, Xinjiang, China)

Abstract: On the basis of data from 14 radiosonde stations and their corresponding surface meteorological automatic observation stations in Xinjiang, China, from 2010 to 2019, the temporal and spatial distribution characteristics of air mixing depth, ventilation rate, mean wind speed in boundary layer, and air self-cleaning ability index in the past 10 years were analyzed. The correlation between meteorological parameters and air quality was discussed based on the air quality index (AQI) data of 10 air quality monitoring stations in Xinjiang from 2015 to 2019. Results show that (1) the monthly distributions of the maximum mixing depth, the ventilation rate, the mean wind speed in the boundary layer, and the index of atmospheric self-cleaning ability had an inverted "V" shape, thereby indicating that the atmospheric diffusion ability of Xinjiang is strong in summer and weak in winter. (2) With regard to the spatial distribution of atmospheric diffusion conditions in Xinjiang, two different diffusion areas are found in southern and northern Xinjiang due to different topographies. The atmospheric diffusion conditions in southern Xinjiang are generally better than those in northern Xinjiang. Whether in winter or summer, southern Xinjiang has greater self-cleaning ability, ventilation capacity, and mixing depth than northern Xinjiang does, but the mean wind speed in the boundary layer is the same in southern and northern Xinjiang. This condition is mainly due to the great difference of non-adiabatic heating on the ground caused by different sunshine duration and intensity. (3) An analysis of the correlation between the above parameters and AQI shows that the atmospheric diffusion conditions of stations in northern Xinjiang are significantly negatively correlated with AQI except Altay station, and they all passed the 0.01 confidence test. The conditions are not consistent in southern Xinjiang; only Hotan station passed the 0.01 confidence test, thus indicating a significantly positive correlation, which is the opposite of northern stations in Xinjiang. This result occurred because the causes of air pollution in northern and southern Xinjiang are different. The main pollution sources in southern Xinjiang during spring are sand and dust, especially at Hotan statio station, where sand and dust increase under good atmospheric diffusion conditions, resulting in poor air quality. In northern Xinjiang, pollution is mostly due to the stable atmospheric stratification, which results in failed coal smoke emission from urban factories. The strong atmospheric diffusion ability will help the dilution and diffusion of pollutants and improve the air quality.

Key words: atmospheric diffusion conditions; self-cleaning ability index; ventilation; mixing depth

chinaXiv:202201.00070v1